

再生可能エネルギー熱利用にかかるコスト低減技術開発/
地中熱利用システムの低コスト化技術開発/
ZEB化に最適な高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの研究開発

発表者 日本地下水開発(株) 山谷 睦

日本地下水開発(株)
ゼネラルヒートポンプ工業(株)

2023年2月2日

問い合わせ先
日本地下水開発株式会社
E-mail:webmaster@jgd.jp
TEL:023-688-6000

事業概要

1. 期間

開始 : 2020年1月

終了(予定): 2024年3月

2. 最終目標

高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムが建物のZEB化に極めて効果的であることを実証することにより、今後、経済産業省の示したロードマップに従って普及が加速されるZEBに本システムを広く普及させる。それによって、本システム省エネルギー効果により、日本の二酸化炭素排出量の大幅削減に資することが最終目標である。

3. 成果・進捗概要

- ・高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムのZEB実証施設で実稼働させた。
- ・フリークーリング冷房と比較するためヒートポンプ冷房を実施し、省エネルギー効果を検証した。
- ・本システム稼働による『ZEB』達成を確認した。
- ・密閉型井戸で洗浄方法を試行して効果検証し、井戸性能維持に有効であること確認した。
- ・高効率帯水層蓄熱専用ヒートポンプの一次側熱交換器を分解点検し、スケール付着のないことを確認した。

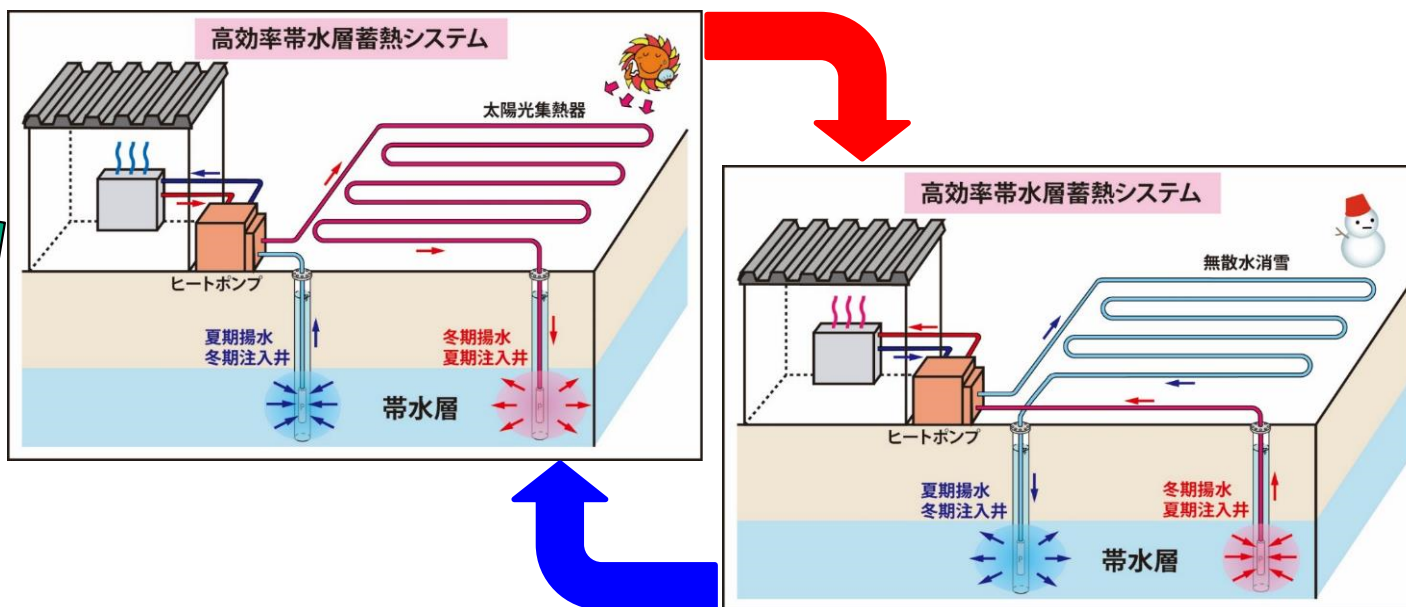
◆研究開発の内容・実施体制

研究開発の背景・内容(課題など)

○2014年度～2018年度のNEDO事業「再生可能エネルギー熱利用技術開発」の成果を生かした研究開発を行う

○高効率帯水層蓄熱システムでの成果(冷暖房システム)

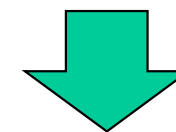
- ・イニシャルコスト 21%低減
 - ・ランニングコスト 31%低減
- を実現



○異なるエネルギー源を統一(トータル熱供給システム)

- 1) 冷暖房システム(従来型:オープンループ冷暖房システム)
- 2) 給湯システム(従来型:ガス給湯器)
- 3) 無散水消融雪システム(従来型:地下水方式)

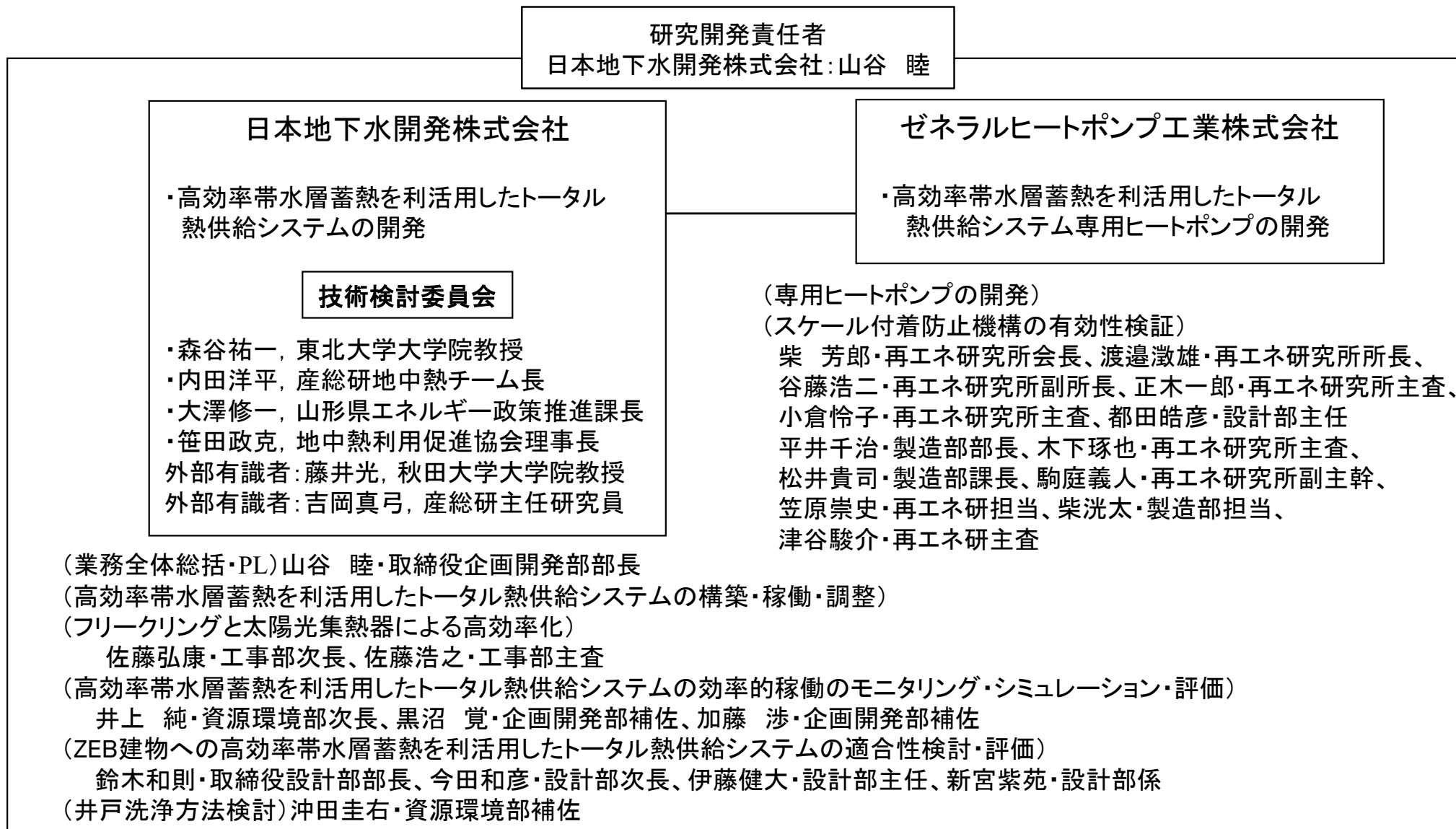
ZEB普及



本システム普及

◆ 研究開発の内容・実施体制

研究開発実施体制



◆研究開発項目・目標

研究開発項目	目標(具体的、数値、設定条件)
<p>(1)高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムの開発</p>	<p>【目標値】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) ZEB実証建物と本システムの適応性評価 2) システム構築とモニタリング 3) フリークーリングによる冷房高効率化 4) 給湯システムの高効率化 5) 井戸洗浄方法の開発 6) システムの技術評価手法確立 <p style="text-align: center;">↓</p> <p>イニシャルコスト 30%低減 ランニングコスト 30%低減</p> <p>【設定条件】 2019年時点での、オープンループ冷暖房システム＋業務用ガス給湯器＋地下水利用無散水消融雪システムと、本システムの比較で設定</p>
<p>(2)高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発</p>	<p>【目標値】</p> <ol style="list-style-type: none"> 1)専用ヒートポンプの開発 ヒートポンプ性能 給湯COP=4.3 (給湯17°C→60°C、地下水15°C→10°C) 総合COP=7.1 (給湯17°C→60°C、冷水12°C→7°C) (冷房＋給湯同時運転時) 2)スケール防止機構有効性検証 (進行度合いの推定手法検討も) <p>【設定条件】 前事業で完成した地下水と冷媒が直接熱交換できるモジュール型冷暖房ヒートポンプに給湯機能を付加し、モジュール型冷暖房給湯ヒートポンプを開発</p>

◆ 研究開発のスケジュール

→ 当初計画
 → 実施済
 → 実施中

研究開発項目	担当	2019				2020				2021				2022				2023					
		1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q		
ZEB実証建物 設計・準備 建築工事	日本地下 水開発 (株)				→	→	→	→	→														
(1)高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムの開発 1)実証建物とシステム適応性評価 2)モニタリング 3)フリークーリング冷房高効率化 4)給湯システムの高効率化 5)井戸洗浄方法の開発 6)システムの技術評価手法確立	日本地下 水開発 (株)				→	→	→	→	→														
(2)高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発 1)設計 2)製作・性能試験 3)山形フィールドへ設置・調整 4)モニタリング 5)スケール防止機構有効性検証	ゼネラル ヒートポ ンプ工業 (株)				→	→	→	→	→														

ZEB実証施設(JESC-ZEB棟)



2021年6月1日
建築物省エネルギー性能評価表示制度
(BELS)において ☆5

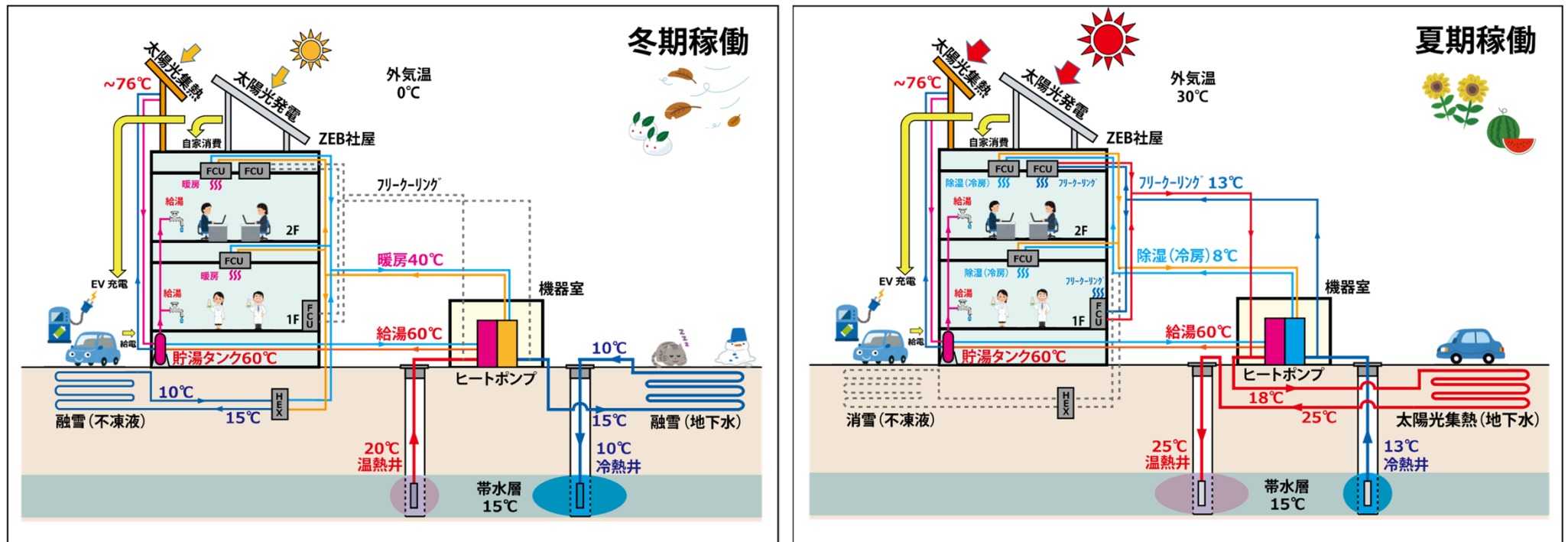


◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

○ 高効率帯水層蓄熱によるトータル熱供給システム実証施設

- ・ 建物の3つの熱需要(冷暖房, 給湯, 融雪)に1システムで対応
- ・ ZEB仕様の建築物に実際に導入し、適応性を実証



- ・ 2021年度運用 (フリークーリング冷房+ヒートポンプ暖房) で『ZEB』 実現を確認
- 2022年夏期はヒートポンプ冷房を行い、フリークーリング冷房との比較等を実施

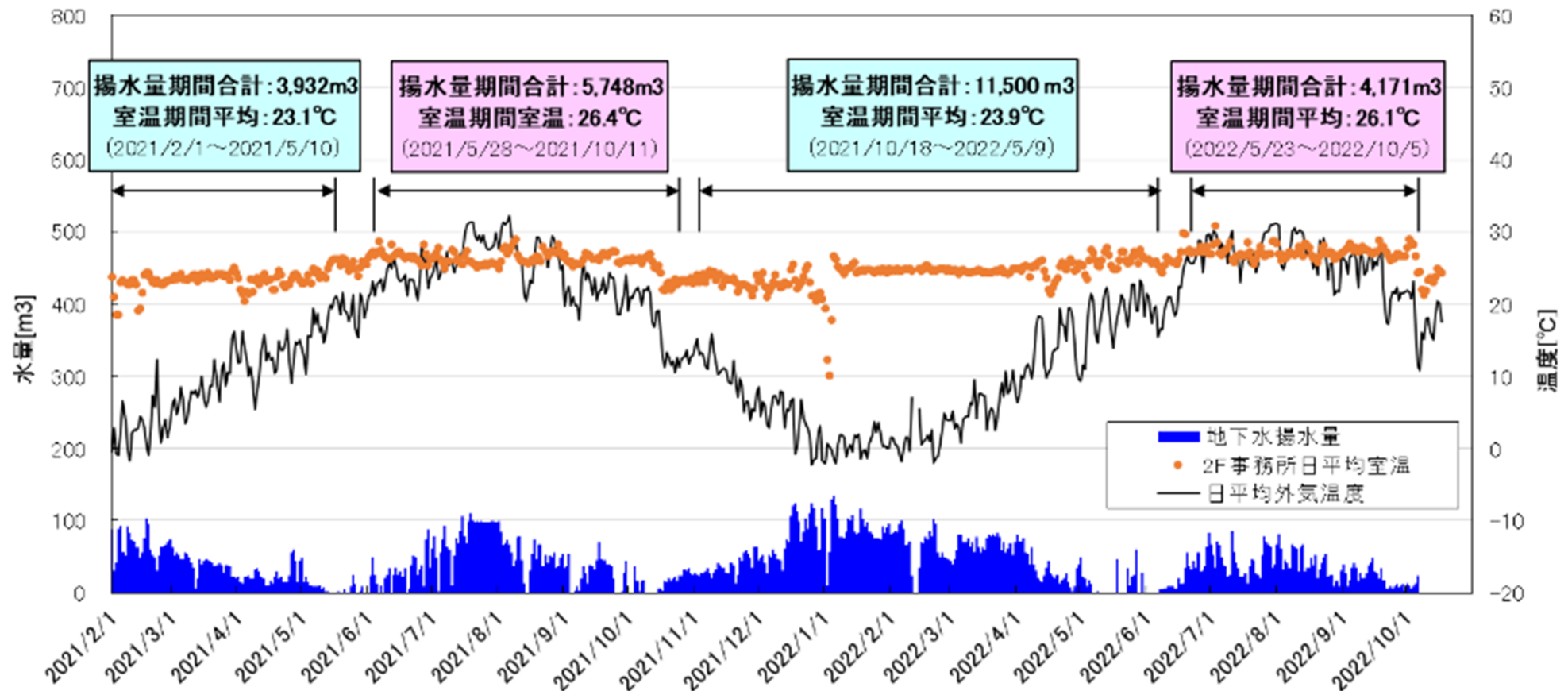
◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

○ 冷暖房で安定した室温維持を実現

- ・ 2021年度冷房はフリークーリング冷房
- ・ 2021年度暖房はヒートポンプ暖房
- ・ 2022年度冷房はヒートポンプ冷房

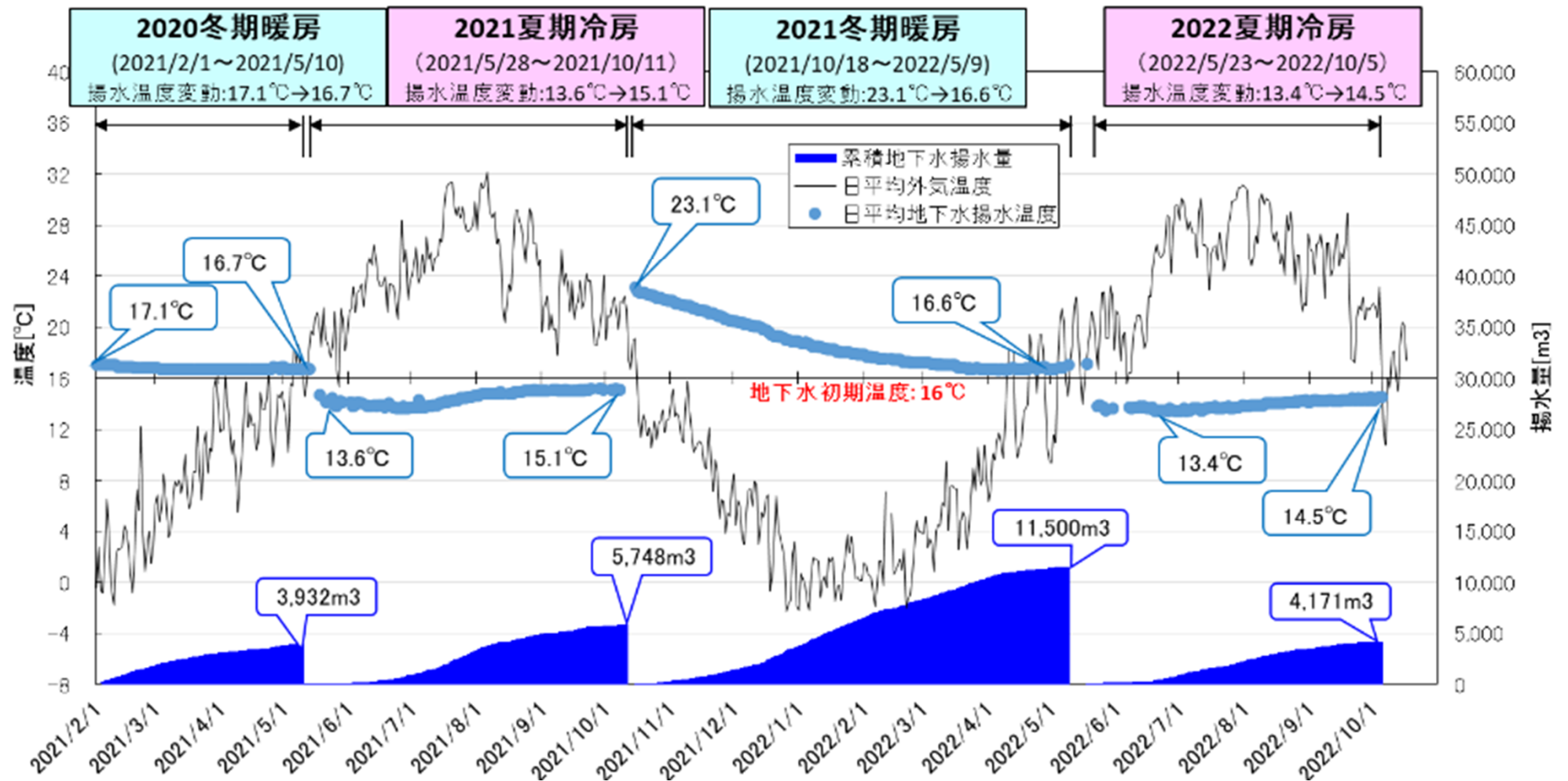
○ 地下水揚水量の合計は、暖房期間 > 冷房期間



◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

- 累積地下水揚水量に連動し蓄熱メリット(冷温熱)が消費される
- 蓄熱メリットを消費しても、各シーズン末で地下水初期温度16°Cに至らなかった

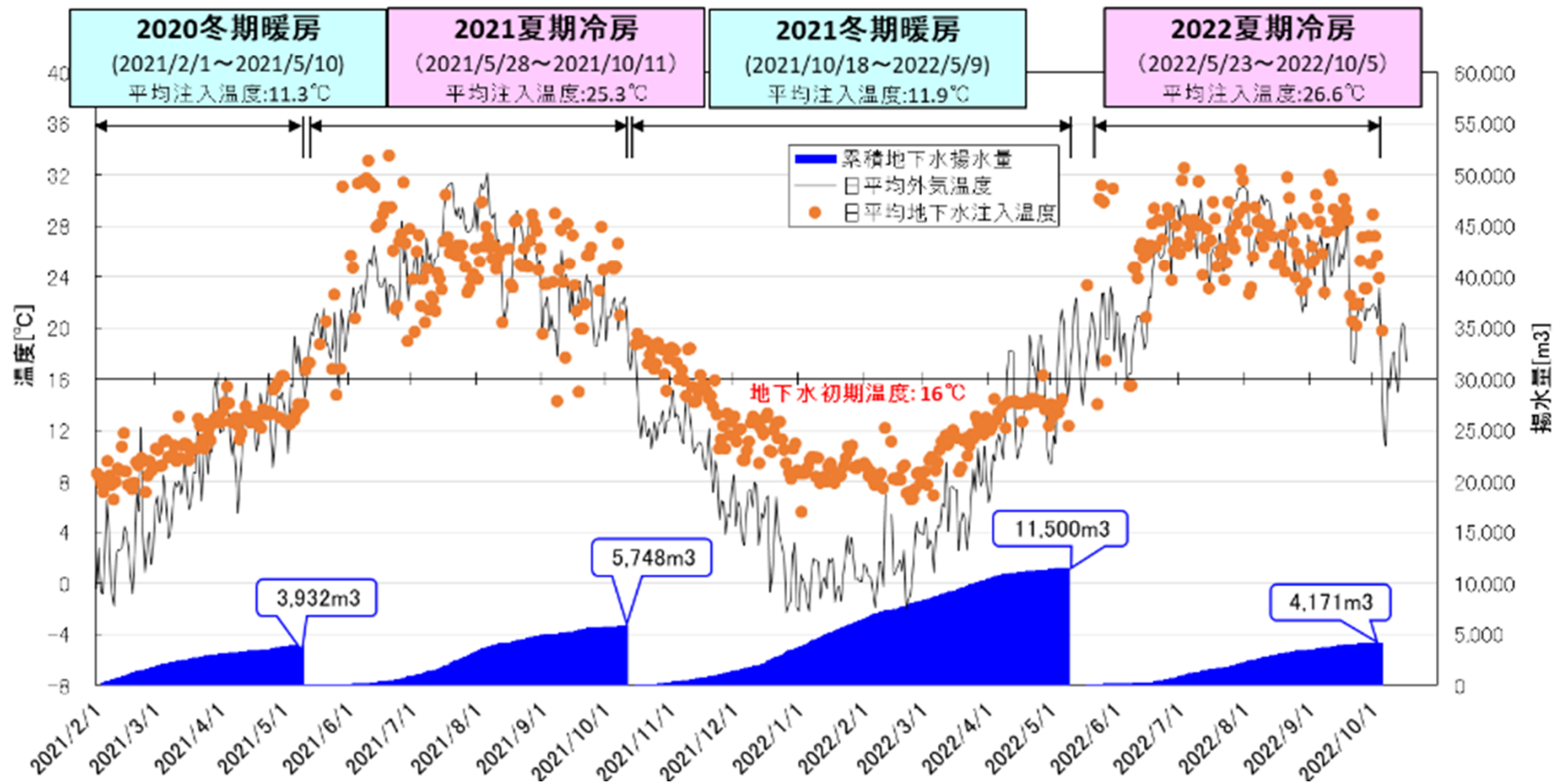


日平均地下水揚水温度の変動と、運用毎の累積地下水揚水量

◆ 技術開発の進捗

4. 2 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

- 地下水注入温度は、概ね外気温の変動に沿う
特に夏期はフリークーリング冷房/ヒートポンプ冷房に関わらず外気温に追随

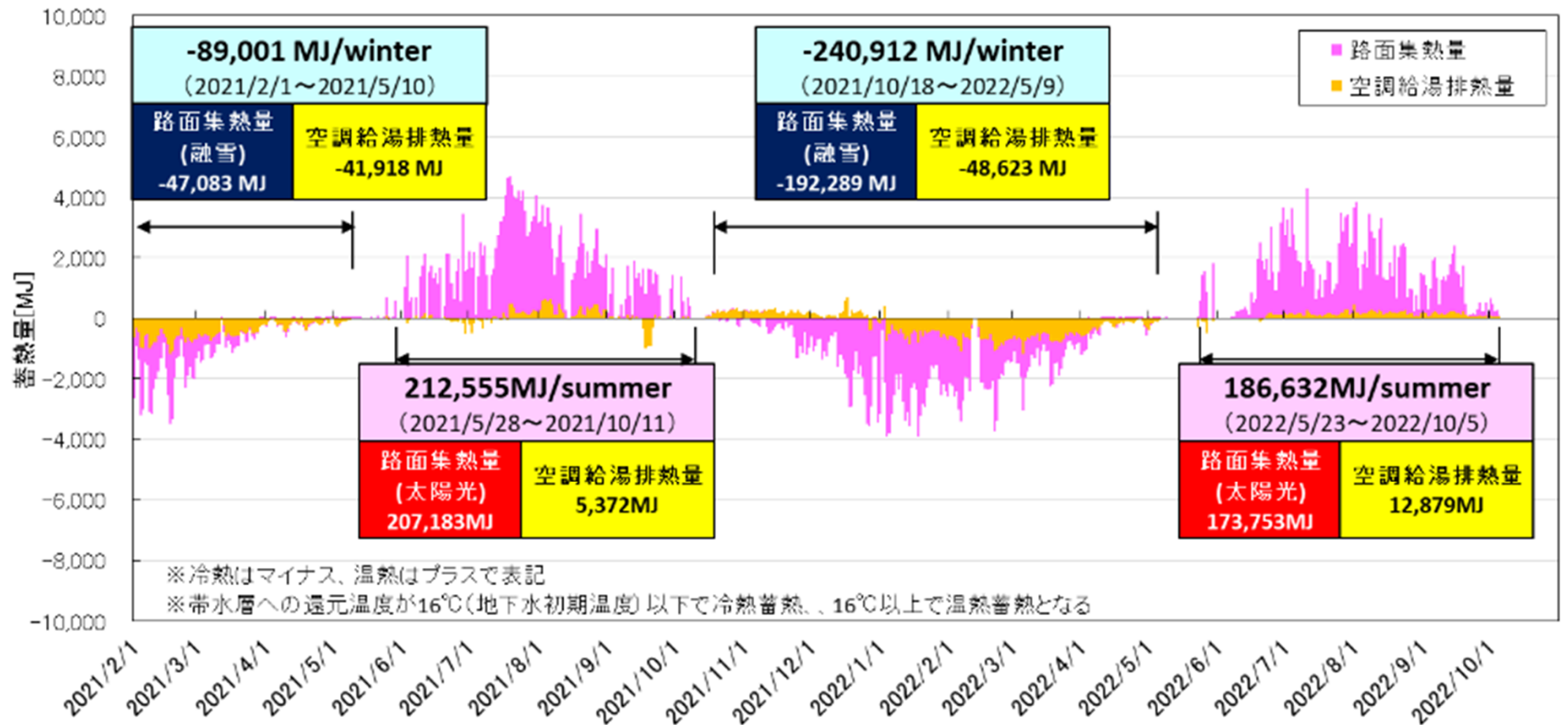


日平均地下水注入温度の変動と、運用毎の累積地下水揚水量

◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

○蓄熱量全体に占める無散水融雪施設／太陽光集熱器による集熱量の割合が
冬期暖房・夏期冷房共に空調給湯排熱による蓄熱量を上回る



日蓄熱量の変動

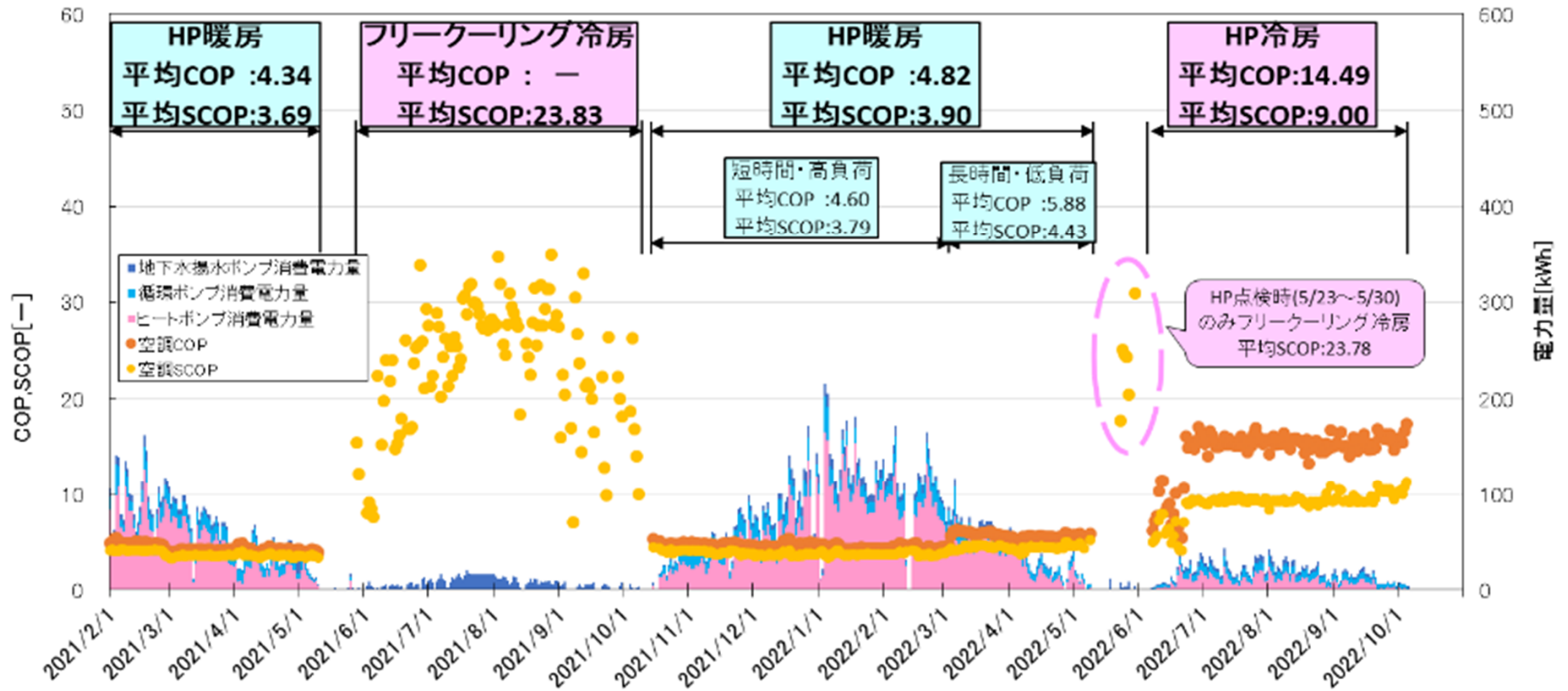
◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

○フリークーリング冷房時のSCOPは、ヒートポンプレスの実現により高い

○ヒートポンプ冷房/暖房時のCOP, SCOPは、運用序盤に高く緩やかに低下

→蓄熱メリット(地下水揚水温度)の消費に連動



※空調COPはヒートポンプ消費電力量のみ、空調SCOPはヒートポンプと地下水揚水ポンプ、循環ポンプの消費電力量合計から算定

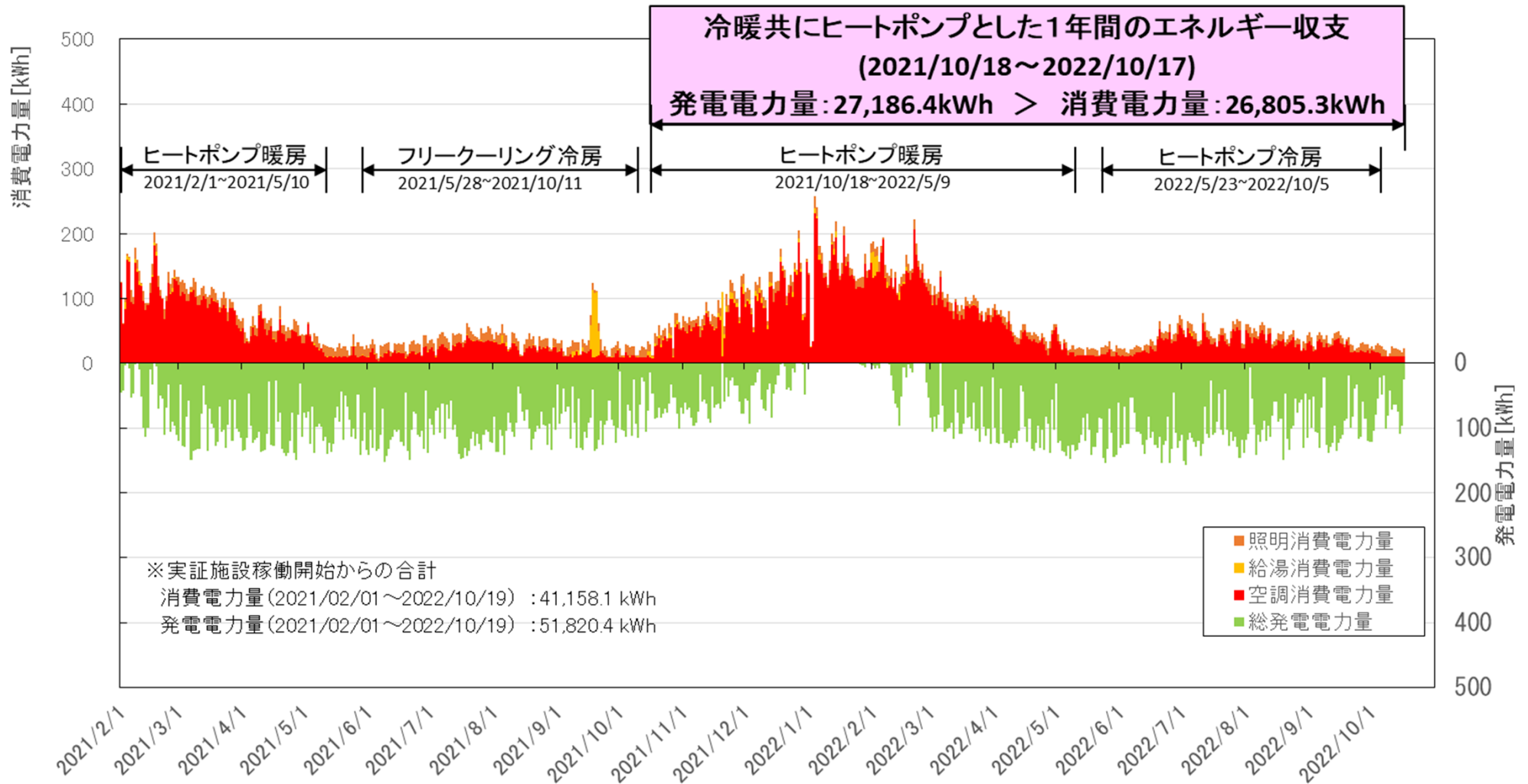
日平均COPとSCOPの変動

◆ 技術開発の進捗

4. 2 高効率帯水層蓄熱を活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

○冷暖房共にヒートポンプを運用しても、『ZEB』を達成

- ・冷熱蓄熱効果により、ヒートポンプの稼働効率が非常に高くなった



発電電力量と消費電力量の変動(積上グラフ)

◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発(日本地下水開発株式会社)

密閉式井戸構造を有効利用した井戸洗浄方法の検討

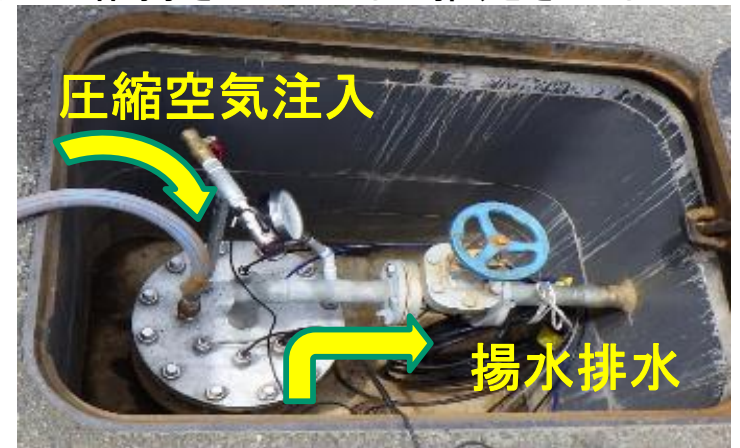
目的: 本方式による井戸洗浄方法の開発により井戸のメンテナンスコストを低減
 従来工法では、井戸洗浄1回あたり100万円程度かかる
 (従来工法の流れ: ポンプ撤去→スワービング、エアリフト等で洗浄→ポンプ再設置)

方法: 密閉井戸構造を有効利用し、圧縮空気加圧とポンプ揚水により
 アニュラス部に圧力変化を与え、一般工法と同等の洗浄効果
 ⇒ 季節稼働後の3号井と4号井を使用して洗浄試験を実施

結果: 洗浄前後の透水係数測定結果より、透水係数の桁数が変わるような明確な変化は
 確認されなかった
 毎年洗浄を行っているため、井戸の揚水・注入能力が維持されていると推定される

洗浄前後の透水係数の変化

場所	透水係数 (m/s)			
	2021年		2022年	
	洗浄前	洗浄後	洗浄前	洗浄後
3号井	3.05×10^{-5}	2.65×10^{-5}	3.76×10^{-5}	3.37×10^{-5}
4号井	3.55×10^{-5}	3.87×10^{-5}	6.80×10^{-5}	3.82×10^{-5}



今後本洗浄方法によって井戸能力が維持されているか検証

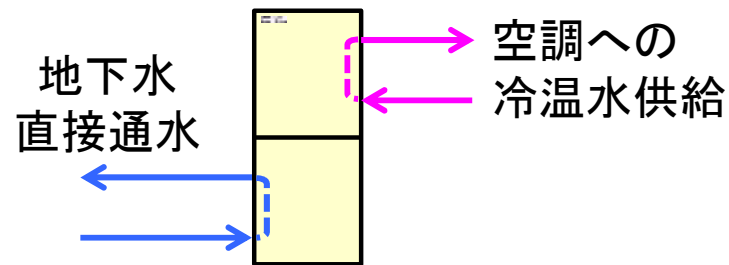
◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発

(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

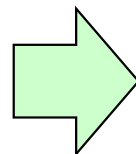
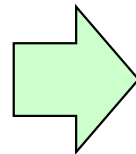
【前PJの内容と目標】

地下水と冷媒が直接熱交換できるモジュール型冷暖房ヒートポンプを開発した



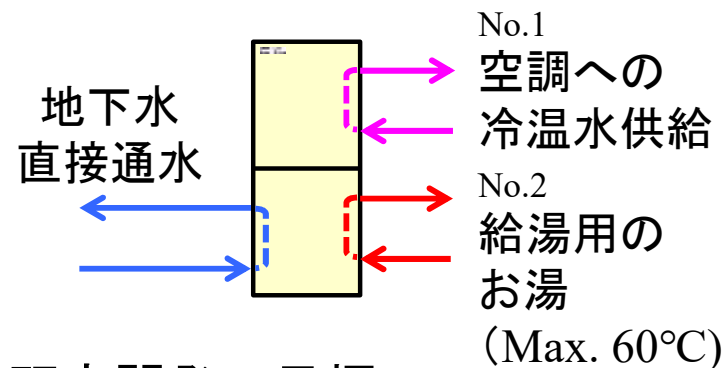
前PJの最終目標

- ・冷却COP 6.35
(冷水12→7°C、地下水15→25°C)
- ・加熱COP 5.80
(温水30→35°C、地下水15→10°C)
を達成した。



【本開発の内容と目標】

地下水と冷媒が直接熱交換できるモジュール型冷暖房給湯ヒートポンプを開発する



本研究開発の目標

- ・給湯COP 4.3 [従来型+0.6]
(補給水17°C→出湯60°C、地下水15°C→10°C)
- ・冷却運転+給湯運転の総合COP 7.1
[従来型+0.4]
(冷水12°C→7°C、補給水17°C→出湯60°C)

※空調単独に関しては、新規開発要素が無いいため目標設定も無し。

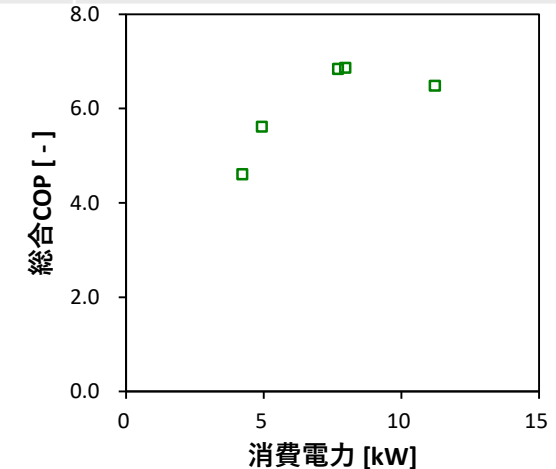
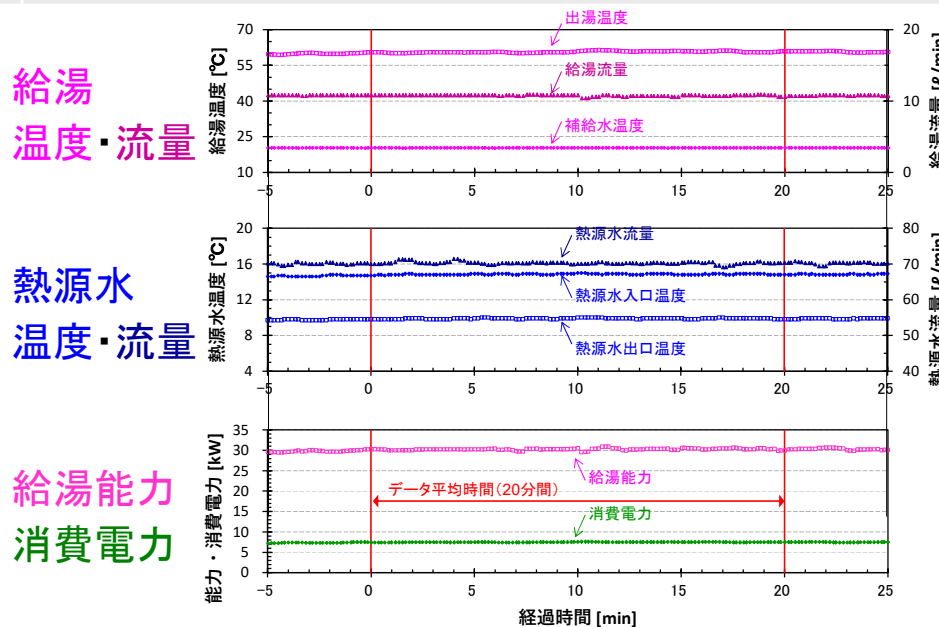
◆ 技術開発の進捗

- ◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発
(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

給湯に関して、本開発の目標を達成しているか、工場内の試験装置にて温度を安定させた状態における能力、消費電力を検証した。その結果、測定条件の補給水温度は目標の温度条件より若干性能が得にくい温度ではあったが、ほぼ目標を達成した。

運転状態	本研究開発の目標	達成状況
給湯 単独運転	給湯COP 4.3 [従来型+0.6] (補給水17°C→出湯60°C、地下水15°C→10°C)	補給水20°Cの条件で、 給湯COP 4.04
冷水+ 給湯運転	冷却+給湯運転の総合COP 7.1 [従来型+0.4] (冷水12°C→7°C、補給水17°C→出湯60°C)	補給水20°Cの条件で、 総合COP 6.86

測定状況の例
給湯時

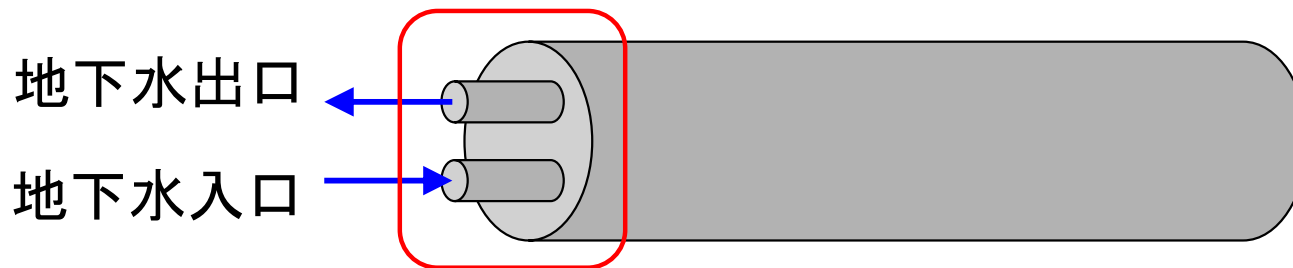


消費電力と総合COPの関係
(総合COP = 給湯COP + 冷却COP)

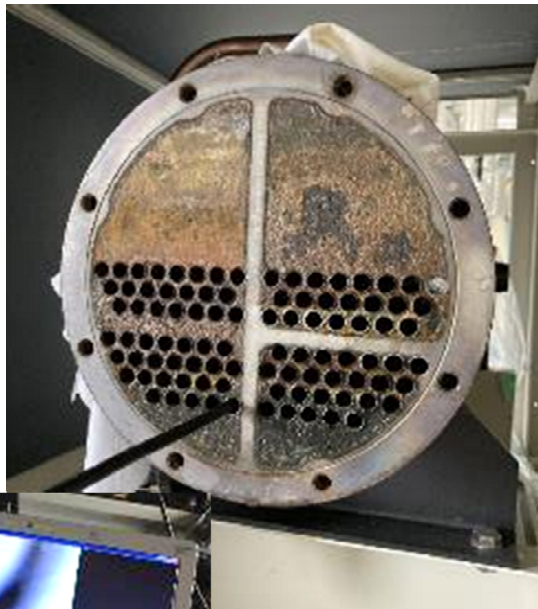
◆ 技術開発の進捗

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発
(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

地下水との熱交換器について開放して内部観察を行った。チューブ内を閉塞させるようなスケールの付着は見られないが、一部ではスケールの付着が認められた。



内部
観察
状況



軸方向
スケール
無し



洗浄時
回収物



軸方向
スケール
あり



洗浄時
流出物



◆ 技術開発の進捗・予定

◎ 高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発

(ゼネラルヒートポンプ工業株式会社)

中長期的なスケール付着の予測手法に関してフィールド試験のデータを用いて検討を行った。具体的には、地下水と冷媒の算術平均温度差と地下水熱交換量の関係をグラフ化し、その傾き(KA値)が得られる条件と傾きの値の変化について検討した。

理論式 $q = KA \Delta T$

↓

$$KA = q / \Delta T$$

K : 熱通過率 [kW/(m²・K)]

A : 熱交換面積 [m²]

q : 地下水熱交換量 [kW]

ΔT : 算術平均温度差[°C (K)]

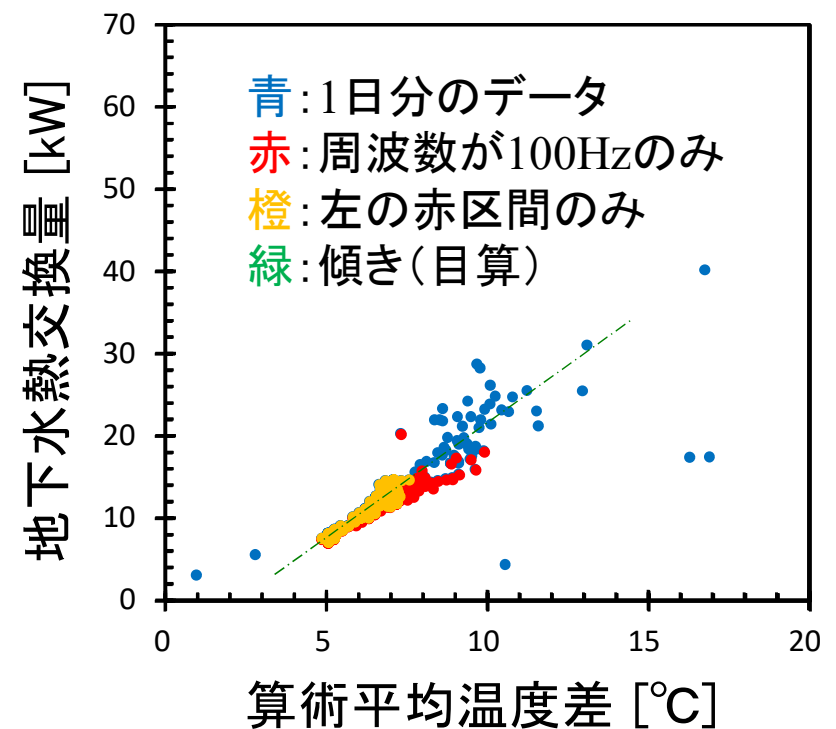
T_{in} : 地下水入口温度[°C (K)]

T_{out} : 地下水出口温度[°C (K)]

T₁ : 冷媒温度(蒸発温度)[°C (K)]

※算術平均温度差 $\Delta T = (T_{in} + T_{out})/2 - T_1$

2022/11/26 のデータ



⇒ 冷媒圧力、運転周波数などが安定した区間のみとすることで直線部が観察される。
 一方、運転状態が安定しない場合には、直線部は現れない。

◆ 技術開発の進捗

◎ 成果一覧表

研究開発項目	研究開発対象	現状の成果			2023年度 目標 (プロジェクト)
		コスト面		性能面	
		個別(RC)	トータル	個別	
(1)高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システムの開発	高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム	空調:39%低減 融雪:15%低減 給湯:84%低減 洗浄:90%低減	トータルコスト (IC+RC×14) :28%低減 IC 21%減 RC 53%減	従来型より蓄熱量増加 温熱:40倍 冷熱:5倍 従来型より消費電力量低減 夏期:8割減 冬期:2割減	2023年度までにトータルコスト20%以上低減(投資回収年数14年以下)させ、2030年までに30%以上低減の行動計画策定
(2)高効率帯水層蓄熱を利活用したトータル熱供給システム専用ヒートポンプの開発	地下水と冷媒が直接熱交換可能な水-水ヒートポンプ(冷暖房+給湯)			・給湯単独運転 補給水20°Cの条件で、 給湯COP 4.04 (93%達成) ・冷水+給湯運転 補給水20°Cの条件で、 総合COP 6.86 (96%達成)	

IC : イニシャルコスト
RC: ランニングコスト